

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

#3 Priority Paper 1113-01 Ritzke

出 願 年 月 日
Date of Application: 2001年 4月16日

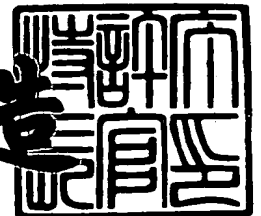
出 願 番 号
Application Number: 特願2001-116251

出 願 人
Applicant(s): 昭和電工株式会社

2001年 5月11日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



【書類名】 特許願

【整理番号】 11H130084

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県秩父市大字下影森 1 5 0 5 番地 昭和電工株式会社
社 総合研究所秩父研究室内

【氏名】 宇田川 隆

【特許出願人】

【識別番号】 000002004

【住所又は居所】 東京都港区芝大門 1 - 1 3 - 9

【氏名又は名称】 昭和電工株式会社

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-185554

【出願日】 平成12年 6月21日

【代理人】

【識別番号】 100118740

【住所又は居所】 東京都港区芝大門 1 - 1 3 - 9

【氏名又は名称】 柿沼 伸司

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 010227

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0102656

【プルーフの要否】 要

【書類名】明細書

【発明の名称】ⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード、発光ダイオードランプ、光源、ⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード用電極およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】裏面に第1導電形の裏面オーミック電極を備えた第1導電形の単結晶基板と、該単結晶基板の表面上に形成されたリン化硼素（BP）系材料からなる緩衝層と、該緩衝層上に設けられた、ヘテロ接合構造の発光部を含む窒化ガリウム（Ga_N）系ⅢⅢ族窒化物結晶層と、該ⅢⅢ族窒化物結晶層上に設けられた導電性透明酸化物結晶層からなる窓層とを少なくとも備えたⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオードにおいて、前記ⅢⅢ族窒化物結晶層の表面と前記窓層との間に、前記窓層と導通をなす第2導電形の表面オーミック電極が、前記ⅢⅢ族窒化物結晶層の表面と接して形成され、前記窓層の上側表面の中央に結線用の台座電極が形成されていることを特徴とするⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項2】前記表面オーミック電極が、前記台座電極の周囲に配置されていることを特徴とする請求項1に記載のⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項3】前記表面オーミック電極が、前記台座電極の中心に対して左右対称の位置に配置されていることを特徴とする請求項1または2に記載のⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項4】前記表面オーミック電極が、前記台座電極の中心より等距離の位置に設けられていることを特徴とする請求項1ないし3に記載のⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項5】前記表面オーミック電極が、等間隔に配置されていることを特徴とする請求項1ないし4に記載のⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項6】前記表面オーミック電極が、前記台座電極の射影領域以外に配置されていることを特徴とする請求項1ないし5に記載のⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 7】前記表面オーミック電極の面積の合計が、開放発光領域の総面積の 5 % 以上で 3 0 % 以下としたことを特徴とする請求項 6 に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 8】前記表面オーミック電極と接する I I I 族窒化物結晶層が、窒化リン化ガリウム ($Ga N_{1-X} P_X$ 、但し $0 < X < 1$) からなることを特徴とする請求項 1 ないし 7 に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 9】請求項 1 ないし 8 に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオードを用いた発光ダイオードランプ。

【請求項 1 0】請求項 9 に記載の発光ダイオードランプを用いた光源。

【請求項 1 1】ヘテロ接合構造の発光部を含む窒化ガリウム ($Ga N$) 系 I I I 族窒化物結晶層と、該 I I I 族窒化物結晶層上に設けられた導電性透明酸化物結晶層からなる窓層とを少なくとも備えた I I I 族窒化物半導体発光ダイオードに用いられる電極において、前記 I I I 族窒化物結晶層の表面と前記窓層との間に、前記窓層と導通をなす表面オーミック電極が、前記 I I I 族窒化物結晶層の表面と接して形成され、前記窓層の上部表面の中央に結線用の台座電極が形成されていることを特徴とする I I I 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

【請求項 1 2】前記表面オーミック電極が、前記台座電極の周囲の位置に配置されていることを特徴とする請求項 1 1 に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

【請求項 1 3】前記表面オーミック電極が、前記台座電極の中心に対して左右対称の位置に配置されていることを特徴とする請求項 1 1 または 1 2 に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

【請求項 1 4】前記表面オーミック電極が、前記台座電極の中心より等距離の位置に設けられていることを特徴とする請求項 1 1 ないし 1 3 に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

【請求項 1 5】前記表面オーミック電極が、等間隔に配置された複数の電極から構成されていることを特徴とする請求項 1 1 ないし 1 4 に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

【請求項 1 6】前記表面オーミック電極が、前記 I I I 族窒化物結晶層の表面上

の台座電極の射影領域以外の領域（以下、開放発光領域という）に配置されていることを特徴とする請求項 11 ないし 15 に記載の III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

【請求項 17】前記表面オーミック電極の面積の合計が、開放発光領域の総面積の 5% 以上で 30% 以下としたことを特徴とする請求項 16 に記載の III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

【請求項 18】前記表面オーミック電極と接する III 族窒化物結晶層が、窒化リン化ガリウム ($\text{GaN}_{1-X}\text{P}_X$ 、但し $0 < X < 1$) からなることを特徴とする請求項 11 ないし 17 に記載の III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

【請求項 19】ヘテロ接合構造の発光部を含む窒化ガリウム (GaN) 系 III 族窒化物結晶層の表面と接して、表面オーミック電極を形成する第 1 の工程と、第 1 の工程に引き続き、前記 III 族窒化物結晶層の表面と前記表面オーミック電極とを覆って、その表面オーミック電極と導通する導電性透明酸化物結晶層からなる窓層を形成する第 2 の工程と、第 2 の工程に引き続き、前記窓層の上部表面の中央に、その窓層と導通する結線用の台座電極を形成する第 3 の工程とを有することを特徴とする III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極の製造方法。

【請求項 20】台座電極を、III 族窒化物結晶層上に導電性透明酸化物結晶層からなる窓層を介して形成し、台座電極の結線を行う面には導電性透明酸化物結晶層が存在しないようにする請求項 19 に記載の III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、素子駆動電流を発光領域の広範囲に拡散させるために好適なオーミック (ohmic) 電極の配置構成を備えた III 族窒化物半導体発光ダイオード (LED) とそれに用いられる III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極、およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来技術】

III族窒化物半導体発光ダイオードは、例えば窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$: $0 \leq x, y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$) 等からなるpn接合型発光部を備えた積層構造体に電極を設けて構成される。積層構造体には、基板材料と積層構造体を構成するIII族窒化物半導体層との格子の不整合性を緩和して良質のIII族窒化物半導体層を成長させるために、一般に緩衝 (buffer) 層が設けられている (特開平2-229476号明細書参照)。サファイア ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 単結晶) を基板とする発光素子用途の積層構造体では、緩衝層はもっぱら窒化アルミニウム・ガリウム (組成式 $\text{Al}_\alpha\text{Ga}_\beta\text{N}$: $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$) から構成されている (前記特開平2-229476号明細書参照)。

このような積層構造体からなるLEDに素子駆動用電流を供給するための電極、所謂、オーミック (ohmic) 電極は、サファイア等の絶縁性材料を基板とする積層構造体にあつては、積層構造体を構成するp形伝導層及びn形伝導層上に配置されている (例えば、特開平6-260682号明細書参照)。

【0003】

図1に、サファイア基板101上に $\text{Al}_\alpha\text{Ga}_\beta\text{N}$ ($0 \leq \alpha, \beta \leq 1$, $\alpha + \beta = 1$) 緩衝層102を介して設けた、n形窒化ガリウム (GaN) からなる下部クラッド層103、窒化ガリウム・インジウム ($\text{Ga}_y\text{In}_{1-y}\text{N}$: $0 \leq y \leq 1$) からなる発光層104、及びp形 GaN からなる上部クラッド層105からなるpn接合型ダブルヘテロ (DH) 構造の発光部10を備えた従来のIII族窒化物半導体LED100の断面構造を模式的に示す。基板101が絶縁性であるが故に、p形及びn形オーミック電極106、107の各々を積層構造体をなすp形伝導層 (p形クラッド層105) 及びn形伝導層 (n形クラッド層103) 表面上に設ける必要がある。即ち、電極107は発光部10の一部を切削する煩雑な加工を経て形成されている。また、発光部10の一部を除去するため、発光部10の表面積が減少し、発光強度の高いIII族窒化物半導体LEDが提供できない不都合がある。

【0004】

一方、リン化ガリウム (GaP) や珪素 (シリコン) 等の導電性結晶を基板とし

て I I I 族窒化物半導体青色 L E D 用途の積層構造体を構成する例も知られている（特開平 2 - 2 7 5 6 8 2 号明細書参照）。この積層構造体の形成にあっては、リン化硼素（B P）系材料から緩衝層を構成する技術が開示されている（前記特開平 2 - 2 7 5 6 8 2 号明細書参照）。導電性結晶を基板とする積層構造体にあっては、基板結晶の伝導形に対応する第 1 導電形の電極を基板裏面に設け、それとは反対の第 2 導電形の電極を基板結晶とは逆の伝導形の積層体構成層上に配置するのが通例である（特開平 1 0 - 2 4 7 7 6 1 号明細書参照）。この従来の電極の配置例では、基板表面上に設けた発光部を欠損する必要もなく、従って発光部の表面積に減少を来すこともないために、高強度の I I I 族窒化物半導体 L E D を得るにそもそも優位となっている。

【 0 0 0 5 】

導電性基板の裏面に第 1 導電形のオーミック電極（裏面オーミック電極）を、また、積層構造体の表面に第 2 導電形のオーミック電極（表面オーミック電極）を備えた従来の I I I 族窒化物半導体 L E D 2 0 0 の平面構成を模式的に図 2 に例示する。表面オーミック電極 2 0 1 は、結線（ボンディング）用の電極（台座電極）を兼ねて、積層構造体の一構成層 2 0 2 の中央部に唯一、配置されるのが通例である（前記特開平 2 - 2 7 5 6 8 2 号明細書参照）。また、中心部の台座電極に直接接触する帯状電極を付帯させて表面オーミック電極を構成する従来例が知られている（特開平 1 1 - 1 6 8 2 4 0 号明細書参照）。

【 0 0 0 6 】

表面オーミック電極は従来より、もっぱら窒化アルミニウム・ガリウム（ $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ ： $0 \leq x, y \leq 1, x + y = 1$ ）結晶層上に設けるのが通例である（特開平 6 - 3 1 4 8 2 2 号明細書参照）。しかしながら、窒化アルミニウム（A l N）及び窒化ガリウム（G a N）の移動度（m o b i l i t y）は、砒化ガリウム（G a A s）やリン化インジウム（I n P）等の他の I I I - V 族化合物半導体のそれに比較して桁違いに小さい（末松 安晴著、「光デバイス」（平成 9 年 5 月 1 5 日、（株）コロナ社発行、初版第 8 刷）、2 8 ～ 2 9 頁参照）。例えば、窒化アルミニウム（A l N）の室温での正孔移動度は $14 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ であり、例えば、間接遷移型のリン化硼素（B P）の $500 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ に比較し

ても約 1/30 の低さにとどまっている（前記「光デバイス」、28～29 頁参照）。このため、オーミック電極を構成層上に唯一設ける従来の電極配置手段では、素子動作電流を発光部の広範囲に亘り充分に拡散できず、よって高強度の I I I 族窒化物半導体 L E D を得るに不利となっている。

【0007】

電流拡散性については他の I I I - V 族化合物半導体に比較して劣る I I I 族窒化物半導体の物性に鑑み、従来技術では、素子動作電流を広範囲に拡散させるために、台座電極に直結させた透光性の金属薄膜電極をオーミック性電極として利用する手段が開示されている（特開平 6 - 3 1 4 8 2 2 号明細書参照）。例えば、p 形不純物がドーピングされた窒化ガリウム（G a N）系 I I I 族窒化物半導体層表面の略全面に金（A u）薄膜からなる透光性オーミック電極が設けられている（前記特開平 6 - 3 1 4 8 2 2 号明細書参照）。しかしながら、この従来技術では、発光部からの発光が電極をなす金属薄膜に少なからず吸収されるため、結局のところ、L E D の外部に取り出せる発光の強度が低下してしまう問題が生じている。

【0008】

インジウム・錫複合酸化物（I T O）膜は、I I I 族窒化物半導体 L E D が放出する青色、緑色或いはより長波長の発光に対して、前記の金属薄膜に比して高い透過率を有する（「透明導電膜の技術」（株）オーム社、平成 11 年 3 月 30 日発行、第 1 版第 1 刷）、97～101 頁参照）。この透過性を利用して外部へ発光をより良く取り出すために、I T O からなる導電性透明酸化物結晶層を窒化ガリウム（G a N）層についてのコンタクト層（発光透過用窓層）として設けて I I I 族窒化物半導体 L E D を構成する技術が知れている（①特開昭 49 - 122294 号明細書、②実開平 6 - 38265 号明細書、及び③A p p l. P h y s. L e t t., V o l. 74, N o. 26 (1999)、3930～3932 頁参照）。

【0009】

従来技術においては、特に高い正孔（h o l e）濃度及び移動度を得られ難く電流拡散性に乏しい p 形 G a N 層上に、I T O 等の導電性透明酸化物結晶層を配置

することが多用されている（前記実開平 6 - 3 8 2 6 5 号、及び Appl. Phys. Lett. 参照）。しかし、ITO と III 族窒化物半導体結晶層とのオーミック接触性は然して良好ではなく、上記の場合順方向電圧（forward voltage: V_f ）が上昇してしまう欠点がある（詳細は前記 Appl. Phys. Lett., Vol. 74（1999）参照）。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は前記の従来技術の不都合に鑑みなされたもので、ITO 等の導電性透明酸化物結晶層を発光を外部へ効率的に取り出すための窓層として備えた III 族窒化物半導体 LED において、素子動作電流を発光部の広範囲に拡散でき、且つ、高強度の発光を外部へ取り出すためのオーミック電極の配置手段を提示する。そしてその手段に依り配置されたオーミック電極を備えた高強度の III 族窒化物半導体発光ダイオードとその III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極およびその製造方法を提供するものである。

【0011】

特に、本発明は素子動作電流を発光部に広範に拡散させるために、台座電極の位置に対して表面オーミック電極を、積層構造体の一構成層の表面上の好適な位置に配置することを骨子とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明は、

（1）裏面に第 1 導電形の裏面オーミック電極を備えた第 1 導電形の単結晶基板と、該単結晶基板の表面上に形成されたリン化硼素（BP）系材料からなる緩衝層と、該緩衝層上に設けられた、ヘテロ接合構造の発光部を含む窒化ガリウム（GaN）系 III 族窒化物結晶層と、該 III 族窒化物結晶層上に設けられた導電性透明酸化物結晶層からなる窓層とを少なくとも備えた III 族窒化物半導体発光ダイオードにおいて、前記 III 族窒化物結晶層の表面と前記窓層との間に、前記窓層と導通をなす第 2 導電形の表面オーミック電極が、前記 III 族窒化物結晶層の表面と接して形成され、前記窓層の上側表面の中央に結線用の台座電

極が形成されていることを特徴とする I I I 族窒化物半導体発光ダイオードである。

【0013】

また本発明は、

(2) 前記表面オーミック電極が、前記台座電極の周囲に配置されていることを特徴とする (1) に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード。

(3) 前記表面オーミック電極が、前記台座電極の中心に対して左右対称の位置に配置されていることを特徴とする (1) または (2) に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード。

(4) 前記表面オーミック電極が、前記台座電極の中心より等距離の位置に設けられていることを特徴とする (1) ないし (3) に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード。

(5) 前記表面オーミック電極が、等間隔に配置された複数の電極から構成されていることを特徴とする (1) ないし (4) に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード。

(6) 前記表面オーミック電極が、前記 I I I 族窒化物結晶層の表面上の台座電極の射影領域以外の領域（以下、開放発光領域という）に配置されていることを特徴とする (1) ないし (5) に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード。

(7) 前記表面オーミック電極の面積の合計が、開放発光領域の総面積の 5 % 以上で 3 0 % 以下としたことを特徴とする (6) に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード。

(8) 前記表面オーミック電極と接する I I I 族窒化物結晶層が、窒化リン化ガリウム ($\text{GaN}_{1-X}\text{P}_X$ 、但し $0 < X < 1$) からなることを特徴とする (1) ないし (7) に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオード。

である。

【0014】

また本発明は、

(9) (1) ないし (8) に記載の I I I 族窒化物半導体発光ダイオードを用いた発光ダイオードランプ。

(10) (9)に記載の発光ダイオードランプを用いた光源。

である。

【0015】

また本発明は、

(11) ヘテロ接合構造の発光部を含む窒化ガリウム (GaN) 系 III 族窒化物結晶層と、該 III 族窒化物結晶層上に設けられた導電性透明酸化物結晶層からなる窓層とを少なくとも備えた III 族窒化物半導体発光ダイオードに用いられる電極において、前記 III 族窒化物結晶層の表面と前記窓層との間に、前記窓層と導通をなす表面オーミック電極が、前記 III 族窒化物結晶層の表面と接して形成され、前記窓層の上部表面の中央に結線用の台座電極が形成されていることを特徴とする III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

である。

【0016】

また本発明は、

(12) 前記表面オーミック電極が、前記台座電極の周囲の位置に配置されていることを特徴とする (11) に記載の III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

(13) 前記表面オーミック電極が、前記台座電極の中心に対して左右対称の位置に配置されていることを特徴とする (11) または (12) に記載の III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

(14) 前記表面オーミック電極が、前記台座電極の中心より等距離の位置に設けられていることを特徴とする (11) ないし (13) に記載の III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

(15) 前記表面オーミック電極が、等間隔に配置された複数の電極から構成されていることを特徴とする (11) ないし (14) に記載の III 族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

(16) 前記表面オーミック電極が、前記 III 族窒化物結晶層の表面上の台座電極の射影領域以外の領域 (以下、開放発光領域という) に配置されていることを特徴とする (11) ないし (15) に記載の III 族窒化物半導体発光ダイオ

ード用電極。

(17) 前記表面オーミック電極の面積の合計が、開放発光領域の総面積の5%以上で30%以下としたことを特徴とする(16)に記載のIII族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

(18) 前記表面オーミック電極と接するIII族窒化物結晶層が、窒化リン化ガリウム($\text{Ga N}_{1-X}\text{P}_X$ 、但し $0 < X < 1$)からなることを特徴とする(11)ないし(17)に記載のIII族窒化物半導体発光ダイオード用電極。

である。

【0017】

また本発明は、

(19) ヘテロ接合構造の発光部を含む窒化ガリウム(Ga N)系III族窒化物結晶層の表面と接して、表面オーミック電極を形成する第1の工程と、第1の工程に引き続き、前記III族窒化物結晶層の表面と前記表面オーミック電極とを覆って、その表面オーミック電極と導通する導電性透明酸化物結晶層からなる窓層を形成する第2の工程と、第2の工程に引き続き、前記窓層の上部表面の中央に、その窓層と導通する結線用の台座電極を形成する第3の工程と、を有することを特徴とするIII族窒化物半導体発光ダイオード用電極の製造方法。

(20) 台座電極を、III族窒化物結晶層上に導電性透明酸化物結晶層からなる窓層を介して形成し、台座電極の結線を行う面には導電性透明酸化物結晶層が存在しないようにする(19)に記載のIII族窒化物半導体発光ダイオード用電極の製造方法。

である。

【0018】

【発明の実施の形態】

図3は、上記(1)または(11)に記載の発明に係わる第1の実施形態を表すIII族窒化物半導体LED300およびその電極の構成を説明するための断面模式図である。第1の実施形態に係わるLED300は、基板301として導電性を呈する単結晶を用いた積層構造体31を母体材料として構成する。導電性の単結晶を基板とすれば、第1導電形のオーミック電極を基板の裏面に裏面オーミ

ック電極 3 0 9 として設けることができる。即ち、サファイア等の電気絶縁性の単結晶を基板とする従来の I I I 族窒化物 L E D とは異なり、発光部の一部を欠落させることなくオーミック電極が設けられるため、従って、発光部の表面積の低減が回避され、高い発光強度の I I I 族窒化物 L E D を得るに優位となる。また、導電性を有し、且つ、劈開性を呈する単結晶を基板として用いれば、結晶の劈開を利用して、簡便に個別の素子に分割でき、I I I 族窒化物 L E D を作製するに至便となる。導電性と劈開性とを兼備し基板として好適に利用できる単結晶として、珪素 (S i)、リン化ガリウム (G a P)、砒化ガリウム (G a A s) などが例示できる。更に、基板表面上に I I I 族窒化物半導体層を積層させる際の堆積温度が、一般には約 8 0 0 °C を越える高温であることに鑑みると、高温での耐熱性を有する珪素単結晶 (シリコン) 等が基板として好適に用いられる。例えば、面方位を { 1 0 0 } 或いは { 1 1 1 } とする p 形または n 形シリコンが基板として好適である。

【 0 0 1 9 】

導電性結晶からなる基板 3 0 1 の表面上には、リン化硼素 (B P) 系材料から構成される緩衝層 3 0 2 を設ける。リン化硼素 (B P) 系材料とは、構成元素として硼素 (B) 及びリン (P) を少なくとも含む I I I - V 族化合物半導体を云う。B P 系材料としてリン化硼素 (B P) に加え、例えば、窒化リン化硼素 ($B N_{1-X} P_X$: $0 < X < 1$) やリン化硼素・ガリウム ($B_{1-Y} G a_Y P$: $0 < Y < 1$) 等が例示できる。B P 系材料は p n 接合型ダブルヘテロ (D H) 発光部 3 0 を構成する窒化ガリウム (G a N) 等の I I I 族窒化物半導体との格子のミスマッチ (m i s m a t c h) が少ない。例えば、窒素組成比 ($= 1 - X$) を 0. 0 3 (3 %) とする $B N_{0.03} P_{0.97}$ (格子定数 = 4. 5 1 0 Å) からは立方晶の G a N との格子整合を果たす緩衝層が構成できる利点がある。即ち、B P 系材料からなる緩衝層は、格子整合性の良好さのためミスフィット転位等の結晶欠陥密度が少ない結晶性に優れる上層をもたらす作用を発揮する。

【 0 0 2 0 】

アズーグローン (a s - g r o w n) 状態において、主に非晶質体から構成されている B P 系緩衝層は、基板をなす導電性単結晶材料と積層構造体をなす構成層

との格子の不整合性を緩和するに特に有効に作用する。非晶質体を主体としてなる結晶層は、上層の成膜に伴い、格子ミスマッチに起因する格子歪を吸収しつつ結晶化するため良質の上層をもたらす作用を発揮するからである。非晶質体を主体とするB P系緩衝層は積層構造体の他の構成層と同じく、例えば、トリエチル硼素 ($(C_2H_5)_3B$) / ホスフィン (PH_3) 反応系有機金属熱分解気相成長 (MOCVD) 法により成膜温度を約 $200^\circ C$ を越え約 $500^\circ C$ 以下の温度で成膜することにより得られる。また、三塩化硼素 (BCl_3) / 三塩化リン (PCl_3) 反応系ハロゲン (halogen) 気相成長 (VPE) 法を利用し、成膜温度を約 $150^\circ C \sim 750^\circ C$ の範囲に設定して得られる。更に、成膜温度は約 $200^\circ C$ 以上で約 $500^\circ C$ 以下の範囲とするのが好適である (特開 2000-58451 号公報明細書参照)。前記気相成長手段に殆ど拘わらず、非晶質体を主体としてなるB P系緩衝層を得るに最も肝要な条件は、その成膜温度である。成膜温度を約 $200^\circ C$ 未満とすると原料の熱分解が十分に進行しないため、緩衝層が安定して形成出来ない不都合がある。一方、成長温度が $500^\circ C$ を越えると多結晶層が形成され易くなる。単結晶体が乱雑に集合してなる多結晶層上には、多結晶層を構成する各単結晶体の配向 (配位方向) を反映して、乱雑な方位に結晶が成長し易いため、表面の平坦な上層が得られ難く不都合である。緩衝層の主たる構成要素の相違は一般的なX線回折分析法や電子線回折法等の分析手段をもって知ることができる。

【0021】

$200^\circ C$ 以上で $500^\circ C$ 以下の範囲の比較的低温で成膜したB P系材料からなる低温緩衝層と、低温緩衝層上にそれより高温で成膜したB P系材料からなる単結晶層とで緩衝層を構成することもできる。低温緩衝層を介して成膜されたB P系結晶層は、結晶欠陥密度が小さく結晶性に優れた単結晶層となり、当該単結晶層は欠陥密度の小さな上層を得るに効果を奏する。即ち、B P系低温緩衝層とその上のB P系高温単結晶層との複数の層から構成した緩衝層は、結晶性に優れる上層をもたらすに有効となる。該当する緩衝層の構成例として、例えば、非晶質のリン化硼素 (BP) からなる低温緩衝層とB P単結晶層との2層から構成される重層緩衝層が例示できる。高温緩衝層は前記MOCVD法等の気相成長手段を利

用して大凡、800℃から1200℃の温度範囲で成膜するのが好ましい。

【0022】

低温緩衝層或いは重層緩衝層上には発光部を構成する。発光部は発光を担う機能部位であり、少なくとも発光層とクラッド層とから構成する。発光部は単一（シングル）ヘテロ構造或いは二重（ダブル）ヘテロ接合構造の何れかから構成できる。発光部をダブルヘテロ（double hetero: DH）接合構造から構成すると、キャリア（carrier）の「閉じ込め効果」により、シングルヘテロ接合構造に比較して高強度の発光をもたらすに優位となる。第1の実施形態として図3に例示するのは、発光層304とそれを挟持する下部クラッド層303及び上部クラッド層305とから構成されているpn接合型DH構造の発光部30である。また、発光部から出射される発光の強度は発光部を構成する機能層、特に発光層をなす結晶層の結晶性に依存する。一般には、転位や欠陥の少ない良質な結晶層を利用する程、高強度の発光が得られる。従って、発光部は前記低温緩衝層或いは重層緩衝層と格子のミスマッチ（mismatch）の少ない結晶層から構成するのが望ましい。例えば、ガリウム（Ga）組成比を0.03（3%）とする立方晶のリン化硼素・ガリウム（ $B_{0.97}Ga_{0.03}P$ ）と、リン組成比を0.03とする立方晶窒化リン化ガリウム（ $GaN_{0.97}P_{0.03}$ ）と、インジウム組成比を0.12とする立方晶窒化ガリウム・インジウム（ $Ga_{0.88}In_{0.12}N$ ）とは同一の格子定数4.566 Åを有する。これより、 $B_{0.97}Ga_{0.03}P$ 緩衝層上に、 $GaN_{0.97}P_{0.03}$ をクラッド層とし、 $Ga_{0.88}In_{0.12}N$ を発光層として格子整合系の発光部を構成できる。即ち、格子ミスマッチに起因する結晶欠陥密度の小さい良質の結晶層から発光部を構成できる。

【0023】

III族窒化物半導体LED300の表面側の電極は、積層構造体31を構成する一構成層、例えば、pn接合型DH構造の発光部30を構成する上部クラッド層305の表面上に表面オーミック電極308を配置し、上部クラッド層305と表面オーミック電極308の表面を被覆し、且つ、表面オーミック電極308と導通する様に設けたITO等の導電性透明酸化物結晶層からなる窓層306を重層させ、窓層306上の中心部に台座電極307を設けて構成する。即ち、表

面オーミック電極 3 0 8 は、台座電極 3 0 7 と個別に、しかも直接台座電極 3 0 7 に接触させずに、I I I 族窒化物半導体 L E D 3 0 0 用途の積層構造体 3 1 の一構成層（図 3 に例示する L E D 3 0 0 にあっては上部クラッド層 3 0 5）の表面上に配置するのが特徴である。台座電極 3 0 7 と表面オーミック電極 3 0 8 とは、窓層 3 0 6 をなす I T O などの導電性透明酸化物結晶層を介して導通される。窓層 3 0 6 は発光を効率的に外部へ射出できる透過率を有し、尚且、表面オーミック電極 3 0 8 へ素子動作電流を供給できる、I T O 以外の良導性の透明材料からも同様に構成できる。I T O 以外の構成材料としては酸化亜鉛（Z n O）、亜鉛（Z n）・珪素（S i）混合酸化物などが例示できる。

【 0 0 2 4 】

上記の L E D 3 0 0 の表面側の電極は、第 1 の工程で上部クラッド層 3 0 5 の表面に公知のフォトリソグラフィ等の手法を用いて表面オーミック電極 3 0 8 を形成し、引き続き第 2 の工程でスパッタリング法等の手法を用いて、前記上部クラッド層 3 0 5 の表面と前記表面オーミック電極 3 0 8 とを覆って、表面オーミック電極 3 0 8 と導通する導電性透明酸化物結晶層からなる窓層 3 0 6 を形成し、さらに引き続き第 3 の工程で、前記窓層 3 0 6 の上部表面の中央に窓層 3 0 6 と導通する結線用の台座電極 3 0 7 を形成することによって作成できる。

【 0 0 2 5 】

この場合、台座電極 3 0 7 を上部クラッド層 3 0 5 上に導電性透明酸化物結晶層からなる窓層 3 0 6 を介して形成することにより、台座電極 3 0 7 の結線を行う面には導電性透明酸化物結晶層が存在しないようにする。台座電極 3 0 7 上に導電性透明酸化物結晶層が存在すると、透明なため導電性透明酸化物結晶層がある領域を認識できず、導電性透明酸化物結晶層上にワイヤボンディングによる結線を行ってしまい、ワイヤが台座電極 3 0 7 に接着しないという不具合が発生することがある。これに対し、導電性透明酸化物結晶層上に台座電極 3 0 7 を形成し台座電極 3 0 7 の結線を行う面には導電性透明酸化物結晶層が存在しないようにすることにより、この不具合を確実に防止することができる。

【 0 0 2 6 】

本発明は特に、平面的に見て表面オーミック電極 3 0 8 を台座電極 3 0 7 の周囲

に配置してⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDを構成するのが特徴である。図4に第1の実施形態に係わる表面オーミック電極308の配置例を例示する。積層構造体31（図3参照）の一構成層305（図3参照）の表面上に、台座電極307を中心として左右対称の位置に配置された表面オーミック電極308は、一構成層305の内部に、しいては発光部30（図3参照）に素子動作電流を分配、拡散させる作用を呈する。また、図4に例示する複数の表面オーミック電極308とは異なる構成からなる表面オーミック電極として、単一の環状金属電極から構成する例が挙げられる。本発明では、発光素子の中心ではなく素子の周辺に設けられた台座電極間の中間領域に島状にオーミック電極を設ける、従来の技術（特開昭57-111076号明細書参照）に示される如くの配置手段とは異なり、平面的に見て、発光素子の中心に設置された台座電極の周囲に表面オーミック電極を配置する。

【0027】

図3を利用して説明するに、台座電極307の下方に在る台座電極307の射影領域307aに於ける発光は、発光部30からの発光が台座電極307により遮蔽されてしまうために効率的に外部へ取り出せない。即ち、台座電極307より窓層306を介して射影領域307aに供給される素子動作電流は素子の発光強度を向上させるに効率的に寄与せず、浪費されることとなる。

そこで本発明の第2の実施形態では、特に、表面オーミック電極308を、積層構造体31をなすⅢⅢⅢ族窒化物結晶層の台座電極307の射影領域307a以外の領域307b（以下、開放発光領域307b）の表面上に配置する。図4に本発明に係わる表面オーミック電極を備えたⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDの平面模式図を示す。開放発光領域307bに配置された表面オーミック電極308は、開放発光領域307bに素子動作電流を優先的に流通、拡散させる作用を発揮する。また、外部に開放されているために発光を外部へ容易に取り出せる開放発光領域307bに限定して素子動作電流を集中して流入させることにより、しいては開放発光領域307bの下方の、例えば、窒化ガリウム・インジウム（ $\text{Ga}_y\text{In}_{1-y}\text{N}$ ： $0 \leq y \leq 1$ ）を発光層304として備えた発光部30に流入する素子動作電流の電流密度を増加させられ、高発光強度のⅢⅢⅢ族窒化物半導体LED

Dを得るに効果が奏される。

【0028】

また本発明の第3の実施形態では、表面オーミック電極を開放発光領域の表面上に、前記台座電極の中心に対して左右対称の位置に配置する。台座電極の周囲に左右対称の位置関係をもって配置された表面オーミック電極は、発光部の広範囲に亘り、均等に素子動作電流を拡散させる作用を発揮する。特に、開放発光領域の表面上にあって、台座電極の中心に対して左右対称の位置に表面オーミック電極を配置すれば、開放発光領域に流入される素子動作電流の電流密度の均一化が達成され、よって、面内発光強度が均一なI I I族窒化物半導体LEDを得るに効果を奏する。

【0029】

また、本発明の第4の実施形態では、表面オーミック電極を開放発光領域の表面上にあって、台座電極の中心より等距離の位置に設けることとする。台座電極の周囲に、間隔を同一として設けたオーミック電極は、発光部に広範囲且つ均等に素子動作電流を拡散させる作用を発揮する。特に、開放発光領域の表面上に、台座電極からの距離を等しくして規則的に配置された表面オーミック電極は、開放発光領域に流入する素子動作電流の電流密度を均等となし、開放発光領域での発光強度を均一化するに効果を奏する。第4の実施形態の趣旨に則る表面オーミック電極の配置例として、例えば、台座電極の平面形状の中心を中心とする同心円の円周上の数箇所の位置に表面オーミック電極を設ければ構成できる。数箇所に設ける表面オーミック電極の平面形状は全て同一とする必要はないが、少なくとも台座電極に対し左右対称の位置に在る表面オーミック電極の平面形状は同一とするのが望ましい。これは開放発光領域に於ける電位分布を左右対称として、開放発光領域より均一な強度の発光を得るためである。

【0030】

また、本発明の第5の実施形態では、表面オーミック電極を積層構造体の一構成層の表面上に等間隔に配置した複数の電極から構成する。一構成層の表面上の台座電極の周囲の領域に等間隔に複数の表面オーミック電極を配置することにより、台座電極より窓層を経由して供給される素子動作電流を発光部に均等に流通で

きる作用が得られる。特に、台座電極の射影に接することなく、開放発光領域の表面上に一定の間隔をもって表面オーミック電極を設ければ、開放発光領域にほぼ限定して、即ち、台座電極の射影領域以外の外部へ容易に発光を取り出せる領域に優先的に、高く且つ均一な電流密度をもって素子動作電流を流通できるため、面内の発光強度が均一な I I I 族窒化物半導体 L E D を得るに優位となる。等間隔に設ける表面オーミック電極は必ずしも同一の平面形状とする必要はないものの、台座電極に対し対称の位置には平面形状を同一とする表面オーミック電極を配置するのが好ましい。

【 0 0 3 1 】

特に開放発光領域に限定して、上記の第 3 ～ 第 5 の実施形態に示される構成手段を総合して備えて配置された表面オーミック電極は、開放発光領域に優先的に且つ均一な電流密度をもって素子動作電流を流通させるに最も効果を奏する。図 5 は、上記第 3 ～ 第 5 の実施形態に記載の内容を総合的に兼備する表面オーミック電極 5 0 8 の一配置形態を例示する平面模式図である。具体的には、開放発光領域 5 0 7 b に (イ) 台座電極 5 0 7 の射影領域に接することなく、平面的に観て台座電極 5 0 7 の周囲の領域に台座電極 5 0 7 に対して左右対称の位置に、(ロ) 台座電極 5 0 7 の中心を中心とする半径 d_1 及び半径 d_2 (但し、 $d_2 > d_1$) の 2 つの同心円の円周 5 0 9, 5 1 0 上の数箇所 to 各々、台座電極 5 0 7 の中心 5 0 7 c から等距離を保ち、且つ (ハ) 同一の円周上 (5 0 9 または 5 1 0) に相互に等間隔に表面オーミック電極 5 0 8 を配置してなる電極を有する I I I 族窒化物半導体 L E D の平面模式図である。図 5 に示す如く、開放発光領域 5 0 7 b に流入する素子動作電流の電流密度を均等とすべく、表面オーミック電極 5 0 8 を配置することにより、開放発光領域 5 0 7 b に優先的に且つ均等に素子動作電流を流通させることができ、従って、L E D の周縁部に於ける減光がなく発光強度の面内均一性に優れる I I I 族窒化物半導体 L E D がもたらされる。

【 0 0 3 2 】

表面オーミック電極と当該電極を設ける積層構造体構成層とが接触する面積が減少すれば、素子動作電流の注入密度 (電流密度) が増加し、発光強度の向上が期待できる。一方で、表面オーミック電極と構成層との接触面積が減少すれば、オ

ーミック接触抵抗が増加することにより、順方向電圧（forward voltage : V_f ）が徒に増加する不都合を来す。これより、本発明の第6の実施形態では、表面オーミック電極の面積の合計（ $=A$ ）を、開放発光領域の総面積（ $=B$ ）に対し、比率（ $=A/B$ ）にして5%以上で30%以下に規定する。此处で、開放発光領域の総面積（ $=B$ ）とは、表面オーミック電極を配置する一構成層の表面積から台座電極の射影領域の表面積に相当する台座電極の底面積を差し引いて与えられる面積である。また、表面オーミック電極の面積の合計（ $=A$ ）とは、単一のオーミック電極にあつてはその平面の面積であり、複数のオーミック電極にあつては各オーミック電極の平面の面積の合計を指す。

【0033】

開放発光領域の総面積（ $=B$ ）に占める表面オーミック電極の面積の合計（ $=A$ ）の比率が5%未満であると、素子動作電流の電流密度は増加して発光強度の向上がもたらされるものの、順方向電流を20ミリアンペア（mA）とした際の V_f は急激に増加する不都合が生じる。例えば、前記好適な範囲の比率のIII族窒化物半導体LEDに比較して、 V_f は約20%から30%以上は増加し、4.5ボルト（V）を越えて高くなる場合もある。一方、開放発光領域において表面オーミック電極が占有する面積が増加するに伴い、 V_f は低下する。しかし、通常表面オーミック電極は発光部からの発光を吸収する金属から構成されているため、比率（ $=A/B$ ）が高くなるにつれ、金属からなる表面オーミック電極による発光の吸収の程度も増加するため、発光強度が著しく低下する不都合がある。開放発光領域の総面積（ $=B$ ）に占める表面オーミック電極の面積の合計（ $=A$ ）の比率が30%を越えると、前記好適な範囲の比率のIII族窒化物半導体LEDに比較して、例えば順方向電流20mAにおけるLEDの発光強度が、約40%から50%程度に低下する場合がある。

【0034】

例えば、直径を120 μm とする円形の台座電極を備えた、一辺の長さを350 μm とする表面が正方形のLEDであれば、平面的に見たLEDの表面積から台座電極の射影領域を除いた開放発光領域の総面積は約 $1.1 \times 10^{-3} \text{cm}^2$ となる。この開放発光領域の総面積（ $=B$ ）に対し、表面オーミック電極の面積の合

計 ($=A$) を $5.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ ($A/B=0.05$) 以上で $3.3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ ($A/B=0.30$) 以下とすることにより、発光強度も高く併せて順方向電圧も低い I I I 族窒化物半導体 L E D が構成できる。例えば、総面積を約 $1.1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ ($=B$) とする開放発光領域に、直径を $20 \mu\text{m}$ とする円形の表面オーミック電極を計 12 個配置すれば、表面オーミック電極の面積の合計 ($=A$) は $9.4 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$ となり、比率 (A/B) を約 8.6% とする I I I 族窒化物半導体 L E D が構成できる。比率 (A/B) は通常、表面オーミック電極の直径、幅、或いは長さを適宜設計して調整するが、同比率を特に約 7% から約 10% の範囲とすると、高い発光強度を保ち、なお且つ低い V_f の I I I 族窒化物半導体 L E D が都合良く提供される。また、表面オーミック電極を p 形の I I I 族窒化物半導体層の表面に設ける場合にあっては、この比率 ($=A/B$) を n 形 I I I 族窒化物半導体層表面に設置する場合に比して大とすると、開放発光領域へ流通する素子動作電流の電流密度の均一化に優位である。これは、n 形 I I I 族窒化物半導体半導体に比べて p 形 I I I 族窒化物半導体は、キャリアの移動度が小さく、従って素子動作電流が拡散できる範囲が狭まるため、表面オーミック電極の半導体層への接触面積を拡張して電流の拡散する範囲を拡げる必要があるためである。特に表面オーミック電極を p 形の I I I 族窒化物半導体層の表面に設ける p サイドアップ (s i d e - u p) 型の L E D では、比率 ($=A/B$) を n サイドアップ型 L E D の場合に好適とされる比率 ($=A/B$) に対して約 1 割程度大に設定すると好結果が得られる。

【0035】

順方向電圧の徒な増加は、表面オーミック電極が設けられる一構成層 (コンタクト (c o n t a c t) 層) の材質に依存する表面オーミック電極の接触抵抗を減ずれば抑制され得る。従って、本発明の第 7 の実施形態では、表面オーミック電極を配置する積層構造体構成層を窒化リン化ガリウム ($\text{Ga N}_{1-X} \text{P}_X$: $0 < X < 1$) 結晶層から構成する。従来よりコンタクト層として多用されているのは、窒化ガリウム (Ga N) である (特開平 6 - 2 6 8 2 5 9 号公報明細書参照)。しかし $\text{Ga N}_{1-X} \text{P}_X$ ($0 < X < 1$) にあっては、リン組成比 ($=X$) の調整により禁止帯幅を変化させられる (A p p l. P h y s. L e t t., V o l. 6 0、

No. 20 (1992)、2540～2542頁参照)。換言すれば、リン組成比(=X)の如何に依り、窒化ガリウム(GaN)に比して、禁止帯幅のより小さなIII族窒化物半導体材料からコンタクト層を形成でき、故に、接触抵抗の小さな表面オーミック電極が形成できる利点がある。

【0036】

例えば、波長450ナノメートル(nm)の青色発光に相応する遷移エネルギーは約2.75eVである。また、波長520nmの緑色発光に相応する遷移エネルギーは約2.38eVである。従って、青色発光をもたらす発光層を有するLEDについては約2.8eV以上の、また、緑色発光をもたらす発光層を有するLEDにあっては約2.4eV以上の禁止帯幅を有する $\text{GaN}_{1-X}\text{P}_X$ ($0 < X < 1$)をコンタクト層に用いると、発光の吸収が抑制されたコンタクト層が構成できる。窒化リン化ガリウム($\text{GaN}_{1-X}\text{P}_X$; $0 < X < 1$)の非線形的変化からして(前記Appl. Phys. Lett., Vol. 60、参照)、青色あるいは緑色の発光に対して透過性に優れるコンタクト層は、リン組成比(=X)を5%($X = 0.05$)以下とする $\text{GaN}_{1-X}\text{P}_X$ ($0 < X \leq 0.05$)から構成できる。また、リン組成比(=X)を5%($X = 0.05$)以下とする $\text{GaN}_{1-X}\text{P}_X$ ($0 < X \leq 0.05$)の室温での禁止帯幅は約2.8eVを越えるため、青色あるいは緑色の発光をもたらす発光層を挟持するクラッド層或いはクラッド層を兼用するコンタクト層としても活用できる利点がある。

【0037】

窒化ガリウム(GaN)系III族窒化物結晶層からなるコンタクト層の表面に設ける表面オーミック電極は、コンタクト層がn形の場合、金(Au)や金・ゲルマニウム(Au・Ge)、金・錫(Au・Sn)などの金合金から構成できる。また、コンタクト層がp形の場合、インジウム・亜鉛(In・Zn)、金・亜鉛(Au・Zn)等の亜鉛(Zn)含有合金や金・ベリリウム(Au・Be)合金から表面オーミック電極が構成できる。これらの金属は、窒化ガリウム(GaN)系III族窒化物結晶層と良好なオーミック接触を形成する。特にコンタクト層が $\text{GaN}_{1-X}\text{P}_X$ からなる場合、これらの金属は接触抵抗の低い良好なオーミック接触を形成することができる。

また台座電極は、金（Au）やアルミニウム（Al）などの電気抵抗の小さい金属を用いるのが好ましい。

【0038】

【作用】

本発明のⅢ族窒化物半導体結晶層の表面上の台座電極の周囲に配置された表面オーミック電極は、窓層上の台座電極より窓層を介して供給される素子動作電流を発光部の広範囲に拡散させる作用を有する。

【0039】

表面オーミック電極をⅢ族窒化物半導体結晶層の表面上の台座電極の射影領域以外の領域（開放発光領域）に配置すると、発光を外部へ取り出すのが容易な開放発光領域に優先的に素子動作電流を流通させる作用を有する。

【0040】

開放発光領域の表面上に、台座電極の中心に対して左右対称の位置に配置した表面オーミック電極は、開放発光領域に優先的に且つ均等に素子動作電流を拡散させる作用を有する。

【0041】

開放発光領域の表面上の台座電極の中心より等距離の位置に設けた表面オーミック電極は、開放発光領域に流入する素子動作電流をより均等とする作用を有する。

【0042】

互いに等間隔をもって配置された複数の電極から構成された表面オーミック電極は、開放発光領域に流入させる素子動作電流の電流密度の均等化を果たす作用を有する。

【0043】

表面オーミック電極の面積の合計を、開放発光領域の総面積の5%以上で30%以下に制御すると、順方向電圧の徒な増加を来さずに発光強度を向上させる作用を有する。

【0044】

窒化リン化ガリウム（ $\text{GaN}_{1-X}\text{P}_X$ ： $0 < X < 1$ ）結晶層を表面オーミック電極

のコンタクト層に用いると、接触抵抗の小さな表面オーミック電極をもたらす作用を有する。

【0045】

【実施例】

(実施例1)

以下、本発明に係わるIII族窒化物半導体発光ダイオードおよびその電極を実施例を基に詳細に説明する。図6は本実施例1に係わるIII族窒化物半導体LED600の平面模式図である。また、図7は図6に示すLED600の破線A-A'に沿った断面模式図である。

【0046】

LED600は基板601上に次の各層602～605を備えた積層構造体61を基に構成した。

(1) 硼素(B)をドーピングしたp形導電性の(100)面を有するSi単結晶からなる基板601

(2) トリエチルボラン($(C_2H_5)_3B$)／ホスフィン(PH_3)／水素(H_2)反応系の常圧(大気圧)MOCVD法により、350℃において、 PH_3 と(C_2H_5) $_3B$ の供給比率(V／III比率)を約300に設定して成長させた、層厚を約20ナノメートル(nm)とするZnドーピングのp形リン化硼素(BP)からなる低温緩衝層602

(3) トリメチルガリウム($(CH_3)_3Ga$)／アンモニア(NH_3)／ PH_3 ／ H_2 反応系の常圧MOCVD法により、ジメチル亜鉛($(CH_3)_2Zn$)をZnのドーピング原料として、前記p形BP低温緩衝層602上に約1000℃で積層した、層厚を約0.8μmとし、キャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とするZnドーピングのp形リン化硼素(BP)単結晶層603

(4) $(CH_3)_3Ga$ ／トリメチルインジウム($(CH_3)_3In$)／ NH_3 ／ H_2 反応系の常圧MOCVD法により、880℃で成長させた、平均的なインジウム(In)組成比を約0.06(6%)とし、In組成を相違する複数の相(phase)からなる多相構造からなる、層厚を約8nmとするn形窒化ガリウム・インジウム混晶($Ga_{0.94}In_{0.06}N$)からなる発光層604

(5) $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}/\text{NH}_3/\text{H}_2$ 反応系の常圧 MOCVD 法により、 1080°C で成長させた層厚を約 $0.1\ \mu\text{m}$ とし、キャリア濃度を約 $2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ とする n 形窒化ガリウム (GaN) 層 605

【0047】

p n 接合型ダブルヘテロ (DH) 接合構造の発光部 60 は、低温緩衝層 602 上に積層させた前記 p 形 BP 単結晶層 603 を下部クラッド層とし、 $\text{Ga}_{0.94}\text{In}_{0.06}\text{N}$ 層 604 を発光層とし、また、n 形 GaN 層 605 を上部クラッド層として構成した。上部クラッド層 605 の表面上の台座電極 607 の射影領域 607a 以外の開放発光領域 607b には、金 (Au) からなる n 形の表面オーミック電極 609 を分配して配置した。n 形の表面オーミック電極 609 は、上部クラッド層 605 の表面全面を一旦、金 (Au) の真空蒸着膜で被覆した後、公知のフォトリソグラフィ (写真食刻) 技術を利用するパターニング手段を介して、所望する領域に限り Au 蒸着膜を残置させる手法により形成した。所望の領域以外に被着している Au 蒸着膜は湿式エッチング液により除去した。然る後、上部クラッド層 605 の表面上に n 形の表面オーミック電極 609 を残置させた状態で、通常の高周波スパッタリング法を利用して酸化インジウム・錫複合酸化物 (ITO) からなる窓層 606 を被着させた。窓層 606 をなす ITO 膜の抵抗率は約 6×10^{-4} オーム・センチメートル ($\Omega \cdot \text{cm}$) であり、層厚は約 550 ナノメートル (nm) とした。

【0048】

表面オーミック電極 609 に加えて、公知のフォトリソグラフィ技術等を利用して、前記積層構造体 61 に次の電極を形成して LED 600 を構成した。

(1) 窓層 606 の中央部に形成した、金 (Au) からなる直径を $120\ \mu\text{m}$ とする円形の台座電極 607

(2) Si 単結晶基板 601 の裏面の略全面に形成したアルミニウム (Al) からなる p 形の裏面オーミック電極 608

【0049】

n 形の表面オーミック電極 609 は、各々直径を $30\ \mu\text{m}$ とする同一の円形の Au からなる金属電極を、開放発光領域 607b の表面上の合計 8 箇所に配置して

構成した。n形の表面オーミック電極609の面積の合計(=A)は約 $5.6 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ とした。表面オーミック電極609は台座電極607の中心を中心とする半径 $120 \mu\text{m}$ の円周上の位置に、中心角を 45° とし、互いに直線距離にして約 $46 \mu\text{m}$ の等間隔をもって分配して配置した。

その後、Si単結晶基板601の[110]方向の劈開性を利用して、電極607～609が形成された積層構造体60を一般的なスクライプ手段により個別素子(チップ)600に分割した。チップ600の平面形状は一辺を約 $350 \mu\text{m}$ とする正方形とし、台座電極607の直径は前記如く $120 \mu\text{m}$ として、開放発光領域607bの面積(=B)は約 $1.1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ とした。従って、開放発光領域607bの総面積に占める表面オーミック電極の面積の合計の比率(=A/B)は約5.1%となった。

【0050】

台座電極607及び窓層606を経由して表面オーミック電極609と裏面オーミック電極608の間に動作電流を流通させ、下記の発光特性を得た。

(イ) 発光波長 = 440 nm

(ロ) 発光輝度 = 1.6 カンデラ (cd) (但し、順方向電流 = 20 mA)

(ハ) 順方向電圧 = 3.8 ボルト (V) (但し、順方向電流 = 20 mA)

(ニ) 逆方向電圧 = 20 V 以上 (但し、逆方向電流 = $10 \mu\text{A}$)

本実施例に如くの表面オーミック電極の構成に依れば、素子動作電流を好都合に開放発光領域に優先的に通流できるため、特に、発光強度の高いIII族窒化半導体半導体発光素子が提供された。

【0051】

(実施例2)

本実施例2では、実施例1に記載したものと同一の積層構造体61を利用して、実施例1とは異なる配置の表面オーミック電極609を備えたIII族窒化物半導体発光ダイオード700を作製した例を用いて本発明を説明する。

【0052】

図8に本実施例2に係わるIII族窒化物半導体LED700の平面概略図を示す。図8において、図6に記載したものと同一の部分については、図6と同一の

符号を付してその説明を省略する。

【 0 0 5 3 】

本実施例 2 の I I I 族窒化物半導体 L E D 7 0 0 では、台座電極 6 0 7 の周囲の開放発光領域 6 0 7 b には、下層を金 (A u) とし、上層を酸化ニッケル (N i O_x: 但し、X はおよそ 1) とする重層構造の棒状の表面オーミック電極 6 0 9 を設けてある。棒状の表面オーミック電極 6 0 9 の外縁は、一辺が 3 2 0 μ m の正方形の L E D 7 0 0 の外形状を反映して正方形とし、内縁は直径を 1 2 0 μ m とする円形の台座電極 6 0 7 と相似させて円形とした。台座電極 6 0 7 の中心 6 0 7 c から棒状の表面オーミック電極 6 0 9 の外縁に至る距離は 1 2 0 μ m にし、また、円状の内縁に至る距離は中心 6 0 7 c から半径にして 1 0 0 μ m に設定した。云わば、一辺を 2 4 0 μ m とする正方形の中央部から、直径 2 0 0 μ m の円形に領域をくり抜いた平面形状の表面オーミック電極 6 0 9 は、台座電極 6 0 7 の中心 6 0 7 c を通る中央線 C 及び対角線 D の何れに関して左右対称となる配置とした。開放発光領域 6 0 7 b の総面積に占める表面オーミック電極 6 0 9 の面積の比率 (= A / B) は約 2 8. 8 % とした。

【 0 0 5 4 】

表面オーミック電極 6 0 9 を通常の真空蒸着手段及びフォトリソグラフィ (写真食刻) 手段等を利用して形成した後、一般的な高周波スパッタリング法により実施例 1 と同じ I T O 膜を窓層 6 0 6 として被着させた。窓層 6 0 6 の中央には金 (A u) からなる台座電極 6 0 7 を設けた。S i 単結晶基板 6 0 1 の裏面にアルミニウム (A l) からなる裏面オーミック電極 6 0 8 を形成した後、劈開を利用するスクライブ手段に依り分割して L E D 7 0 0 とした。

【 0 0 5 5 】

L E D 7 0 0 について、台座電極 6 0 7 と裏面オーミック電極 6 0 8 の間に動作電流を通流した際の特性は以下のとおりであった。

(イ) 発光波長 = 4 4 0 n m

(ロ) 発光輝度 = 1. 4 カンデラ (c d) (但し、順方向電流 = 2 0 m A)

(ハ) 順方向電圧 = 3. 6 ボルト (V) (但し、順方向電流 = 2 0 m A)

(ニ) 逆方向電圧 = 2 0 V 以上 (但し、逆方向電流 = 1 0 μ A)

このように本実施例 2 では、順方向電圧が低く、高い発光強度の I I I 族窒化物半導体発光ダイオードが得られた。また、開放発光領域に於ける発光の相対強度の均一性を検証すべく取得したニアフィールド (near field) パターンに依れば、発光の強度は開放発光領域の略全表面において均一であるのが認められた。これは、開放発光領域に分配された電極から表面オーミック電極を構成することにより、開放発光領域の略全領域に均等に素子動作電流が流通できることを示している。

【0056】

次に、この I I I 族窒化物半導体 L E D 7 0 0 を用いて作製した発光ダイオード (L E D) ランプについて説明する。図 1 0 はこの L E D を用いて作製した L E D ランプの構成を示す図である。図において、L E D ランプ 8 0 は、発光ダイオード 8 1 とマウントリード 8 2 とインナーリード 8 3 とからなり、これらの全体を透明な樹脂 8 4 でモールドすることで構成されている。

【0057】

発光ダイオード 8 1 には、本実施例 2 で作製した I I I 族窒化物半導体 L E D 7 0 0 を使用し、この発光ダイオード 8 1 の基板裏面に形成された電極 8 1 a (L E D 7 0 0 の裏面オーミック電極 6 0 8) は、マウントリード 8 2 と電氣的に接触するようにマウントリード 8 2 上に固定され、また発光ダイオード 8 1 の台座電極 8 1 b (L E D 7 0 0 の台座電極 6 0 7) は、ワイヤボンディングによりインナーリード 8 3 に結線されている。

【0058】

この L E D ランプ 8 0 は、本発明の I I I 族窒化物半導体発光ダイオードを用いているため、従来の L E D を使用したものに比較して発光効率が向上したものとなっている。

さらにこの L E D ランプ 8 0 は、車両用灯具、鉄道車両用灯具、交通信号灯、踏切信号灯、路肩表示灯、視線誘導灯、あるいはモニター用表示器、操作盤用表示器の光源として、また複写機やファクシミリなどの事務機器や屋外で使用される情報板などの光源として用いることができ、その場合この L E D ランプ 8 0 を用いた光源は、従来のものに比較して発光効率が高いものとなる。

【 0 0 5 9 】

(実施例 3)

本実施例 3 では、実施例 1 に記載した積層構造体の最表層をなす n 形窒化ガリウム (GaN) 層 6 0 5 の上に、更にオーミックコンタクト層 6 1 0 として窒化リン化ガリウム ($\text{GaN}_{1-X}\text{P}_X$ 、但し $X = 0.03$) を積層させた積層構造体を利用して III 族窒化物半導体 LED を構成した。本実施例 3 に係わる III 族窒化物半導体 LED の断面模式図を図 9 に示す。尚、図 9 において、図 7 に記したのと同じ構成要素には、同一の符号を付してその説明を省略する。

【 0 0 6 0 】

オーミックコンタクト層 6 1 0 をなすリン組成比を 3 % とする n 形窒化リン化ガリウム ($\text{GaN}_{0.97}\text{P}_{0.03}$) は、トリメチルガリウム ($(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$) / アンモニア (NH_3) / ホスフィン (PH_3) / 水素 (H_2) 反応系の減圧 MOCVD 法により、980℃ で成長した。ジシラン (Si_2H_6) を n 形ドーピングガスに用いて、オーミックコンタクト層 6 1 0 のキャリア濃度を約 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に調整した。またオーミックコンタクト層 6 1 0 の層厚は、約 0.15 μm とした。

【 0 0 6 1 】

n 形 $\text{GaN}_{0.97}\text{P}_{0.03}$ オーミックコンタクト層 6 1 0 の表面の開放発光領域 6 0 7 b 上には、実施例 2 と同一の外形状と底面積を有する金 (Au) からなる表面オーミック電極 6 0 9 を形成した。その後、実施例 2 に記載と同様に、表面オーミック電極 6 0 9 を窓層 6 0 6 をなす ITO 膜で被覆し、ITO 窓層の中央部に、下層がクロム (Cr) から、上層が金 (Au) から構成される直径を 120 μm とする円形の台座電極 6 0 7 を設置した。また、p 形 Si 単結晶基板 6 0 1 の裏面の略全面にはアルミニウム (Al) からなる裏面オーミック電極 6 0 8 を設け、III 族窒化物半導体 LED を構成した。

【 0 0 6 2 】

n 形 $\text{GaN}_{0.97}\text{P}_{0.03}$ オーミックコンタクト層 6 1 0 表面の開放発光領域 6 0 7 b 上に表面オーミック電極 6 0 9 を設けて形成した本実施例 3 の III 族窒化物半導体 LED の主たる特性を以下に纏める。

(イ) 発光波長 = 4 4 0 n m

(ロ) 発光輝度 = 1 . 3 カンデラ (c d) (但し、順方向電流 = 2 0 m A)

(ハ) 順方向電圧 = 3 . 2 ボルト (V) (但し、順方向電流 = 2 0 m A)

(ニ) 逆方向電圧 = 2 0 V 以上 (但し、逆方向電流 = 1 0 μ A)

本実施例 3 で得られた I I I 族窒化物半導体 L E D は、実施例 2 で得た I I I 族窒化物半導体 L E D と比較して、発光波長及び逆方向電圧に然したる差異は認められないものの、 $G a N_{0.97} P_{0.03}$ 層をオーミックコンタクト層とするため、高い発光強度を発揮しつつ、尚且つ、順方向電圧が低くなるという効果が示される結果となった。

【 0 0 6 3 】

【発明の効果】

本発明によれば、発光部に平均的に素子動作電流を流通させることができるため、高い発光強度の I I I 族窒化物半導体 L E D が提供できる効果がある。

特に本発明において、台座電極の射影領域以外の開放発光領域の表面上に表面オーミック電極を配置し、(1) 表面オーミック電極を台座電極の中心に対して左右対称の位置に配置する、(2) 台座電極の中心より等距離となる位置に配置する、(3) 表面オーミック電極を互いに等間隔に配置する等の構成を採用すると、開放発光領域に優先的に且つ均等に素子動作電流を流通できるため、開放発光領域に流通できる素子動作電流の電流密度を増加させられ、従って、高発光強度の I I I 族窒化物半導体 L E D を得るに効果が挙げられる。

【 0 0 6 4 】

また本発明において、開放発光領域に敷設する表面オーミック電極の平面積の合計を、開放発光領域の総表面積の 5 % 以上で 3 0 % 以下に制御すると、高い発光強度を保持しつつ、低い順方向電圧の I I I 族窒化物半導体 L E D がもたらされる効果がある。

さらに本発明において、表面オーミック電極を窒化リン化ガリウム ($G a N_{1-X} P_X$: $0 < X < 1$) 結晶層の表面上に設けると、順方向電圧が更に低減された I I I 族窒化物半導体 L E D を提供することができる。

【 0 0 6 5 】

また、本発明の上記のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオードに用いるⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード用電極は、高発光強度のLEDをもたらすことができる。さらに本発明のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光ダイオード用電極の製造方法は、高発光強度のⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDの作製に用いる電極を収率良く作製することができる。特に、導電性透明酸化物結晶層上に台座電極を形成し、台座電極の結線を行う面には導電性透明酸化物結晶層が存在しないようにすることにより、ワイヤボンディングによる結線を導電性透明酸化物結晶層上に行ってしまう、ワイヤが台座電極307に接着しないという不具合を確実に防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

従来のⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDの断面模式図である。

【図2】

従来のⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDの平面模式図である。

【図3】

本発明に係わる表面オーミック電極を備えたⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDの断面模式図である。

【図4】

本発明に係わる表面オーミック電極を備えたⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDの平面模式図である。

【図5】

本発明に係わる表面オーミック電極を備えた別のⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDの平面模式図である。

【図6】

本発明の実施例1に係わるⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDの平面模式図である。

【図7】

図6に示すLEDの破線A-A'に沿った断面模式図である。

【図8】

本発明の実施例2に係わるⅢⅢⅢ族窒化物半導体LEDの平面模式図である。

【図 9】

本発明の実施例 3 に係わる I I I 族窒化物半導体 L E D の断面模式図である。

【図 1 0】

本発明の発光ダイオードランプの構成を示す図である。

【符号の説明】

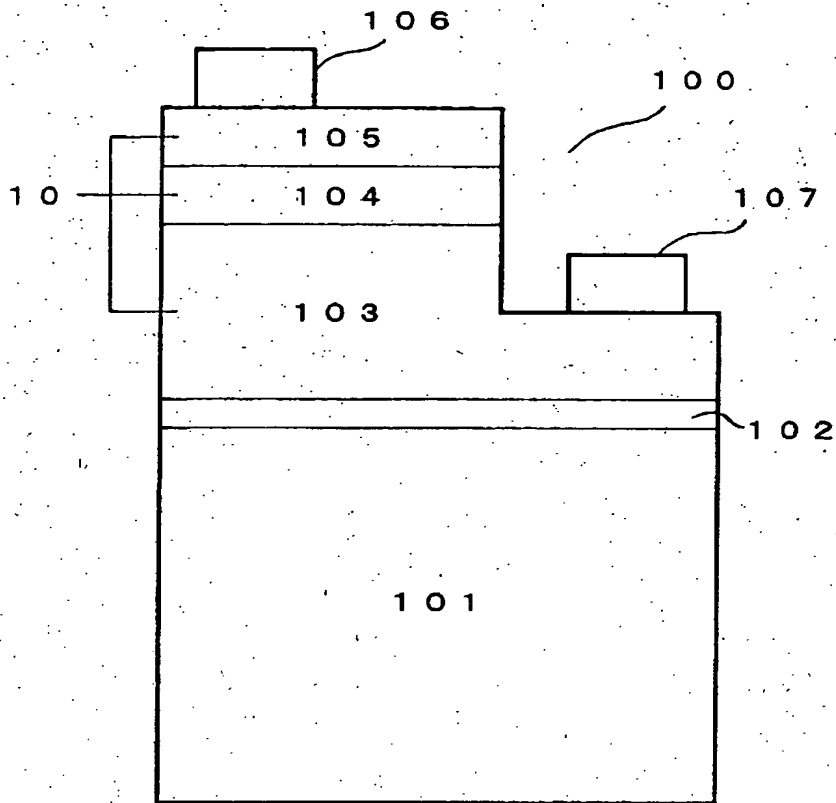
- 1 0 発光部
- 1 0 0 I I I 族窒化物半導体 L E D
- 1 0 1 サファイア基板
- 1 0 2 緩衝層
- 1 0 3 下部クラッド層
- 1 0 4 発光層
- 1 0 5 上部クラッド層
- 1 0 6 p 形オーミック電極
- 1 0 7 n 形オーミック電極
- 2 0 0 I I I 族窒化物半導体 L E D
- 2 0 1 表面オーミック電極
- 2 0 2 積層構造体の一構成層
- 3 0 発光部
- 3 1 積層構造体
- 3 0 0 I I I 族窒化物半導体 L E D
- 3 0 1 基板
- 3 0 2 緩衝層
- 3 0 3 下部クラッド層
- 3 0 4 発光層
- 3 0 5 上部クラッド層
- 3 0 6 窓層
- 3 0 7 台座電極
- 3 0 7 a 台座電極の射影領域
- 3 0 7 b 開放発光領域

3 0 8	表面オーミック電極
3 0 9	裏面オーミック電極
5 0 7	台座電極
5 0 7 b	開放発光領域
5 0 7 c	台座電極の中心
5 0 8	表面オーミック電極
5 0 9	半径を d_1 とする円の円周
5 1 0	半径を d_2 とする円の円周
d_1	台座電極の中心を中心とする半径
d_2	台座電極の中心を中心とする半径
6 0	発光部
6 1	積層構造体
6 0 0	I I I 族窒化物半導体 L E D
6 0 1	基板
6 0 2	低温緩衝層
6 0 3	p 形 B P 単結晶層（下部クラッド層）
6 0 4	発光層
6 0 5	n 形 G a N 層（上部クラッド層）
6 0 6	窓層
6 0 7	台座電極
6 0 7 a	台座電極の射影領域
6 0 7 b	開放発光領域
6 0 7 c	台座電極の中心
6 0 8	裏面オーミック電極
6 0 9	表面オーミック電極
6 1 0	オーミックコンタクト層
7 0 0	I I I 族窒化物半導体 L E D
8 0	L E D ランプ
8 1	発光ダイオード

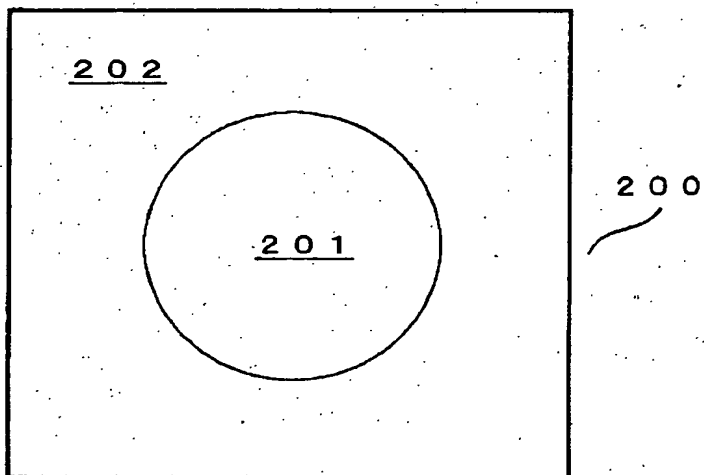
- 8 1 a 基板裏面に形成された電極
- 8 1 b 台座電極
- 8 2 マウントリード
- 8 3 インナーリード
- 8 4 樹脂
- C 台座電極の中心を通る L E D の中央線
- D 台座電極の中心を通る L E D の対角線

【書類名】 図面

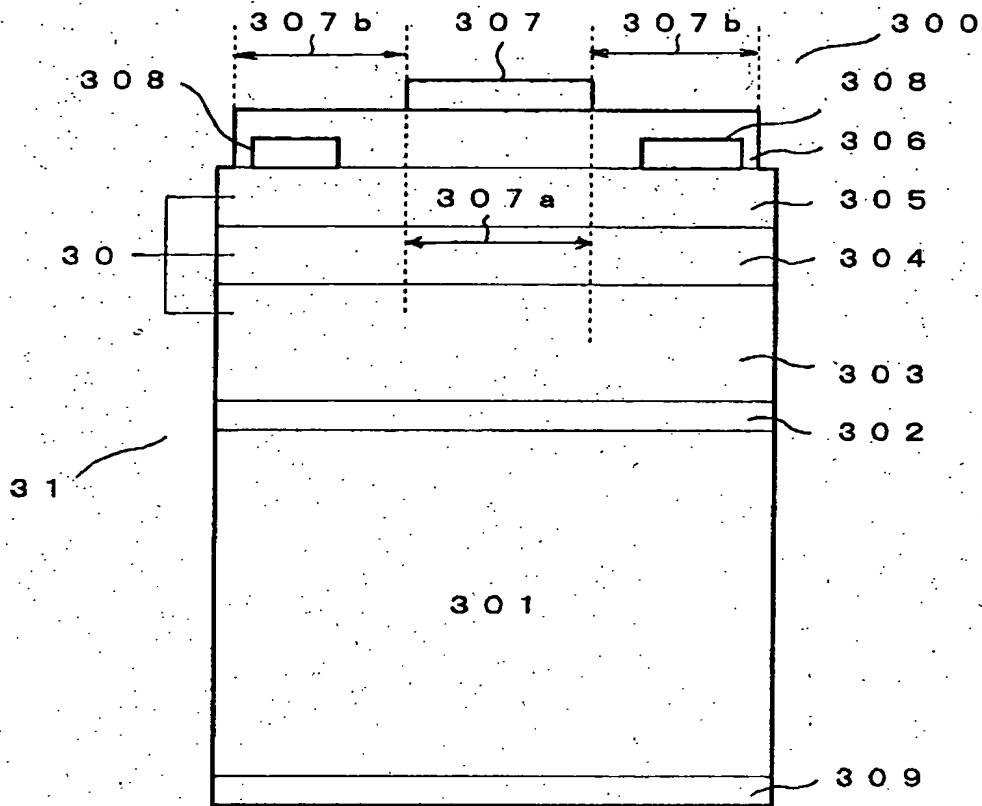
【図 1】



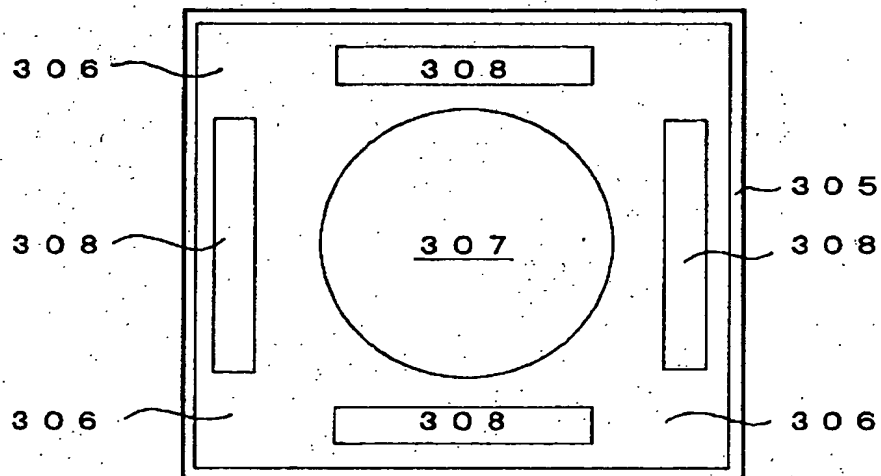
【図 2】



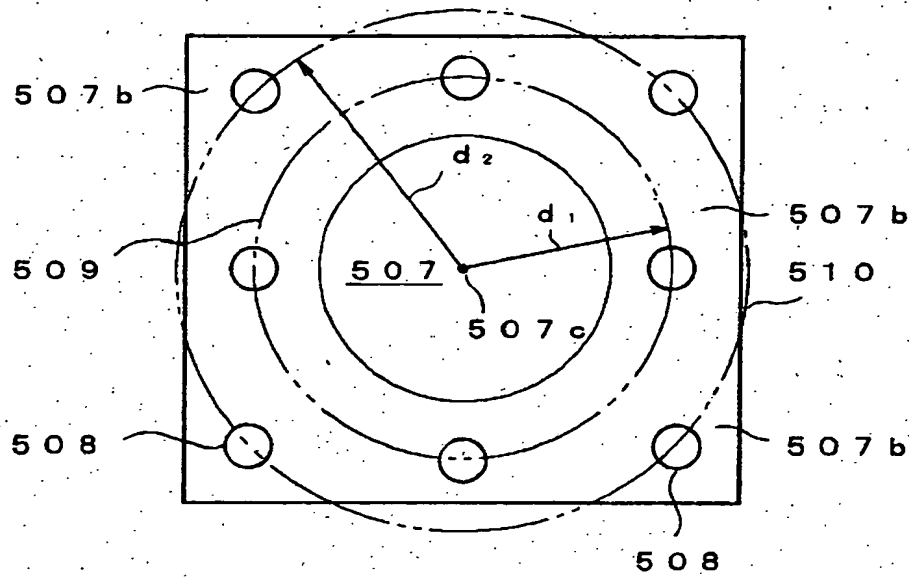
【図3】



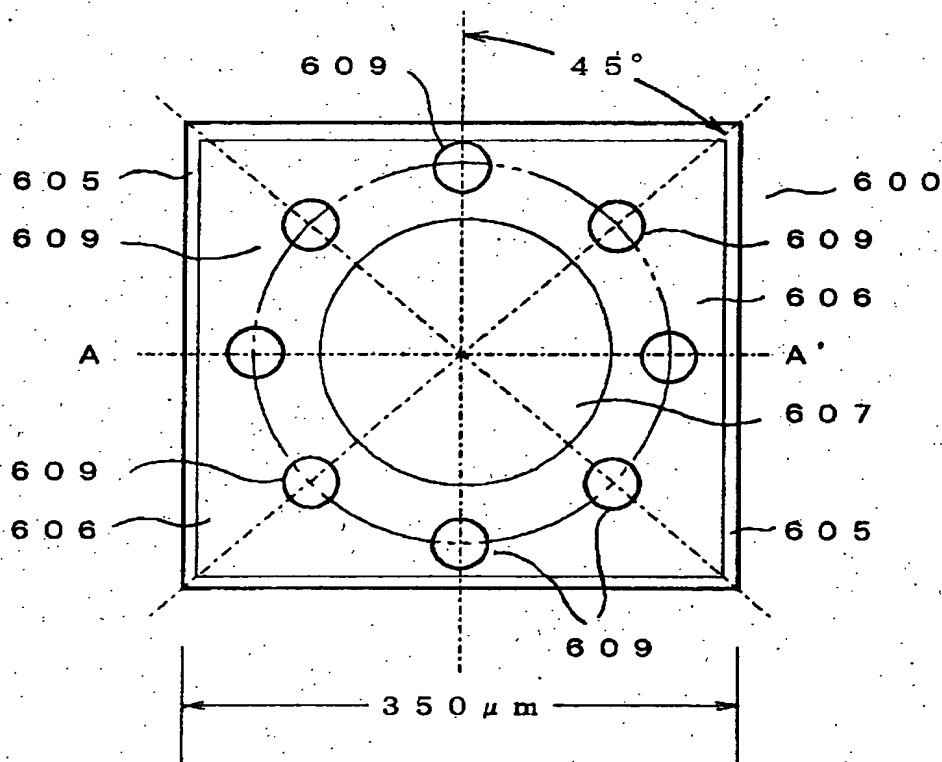
【図4】



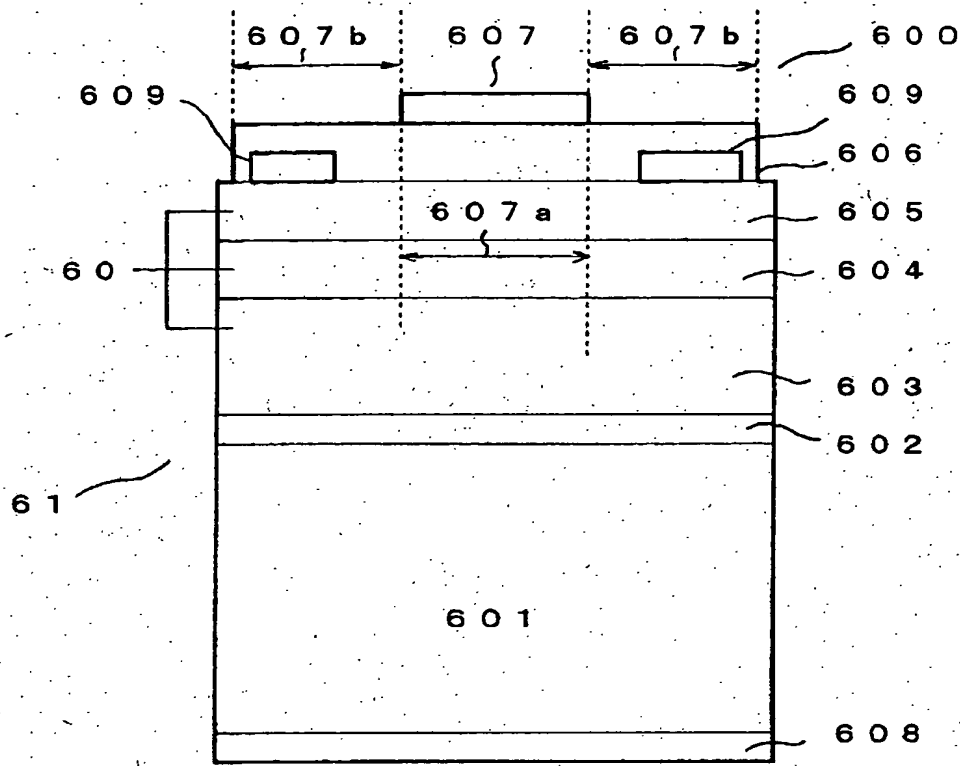
【図5】



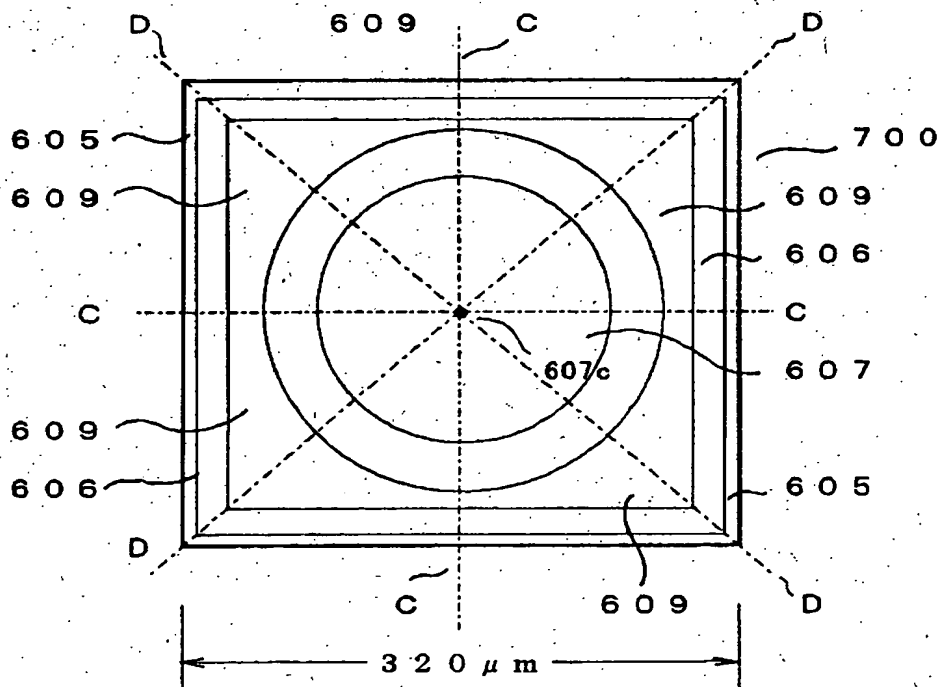
【図6】



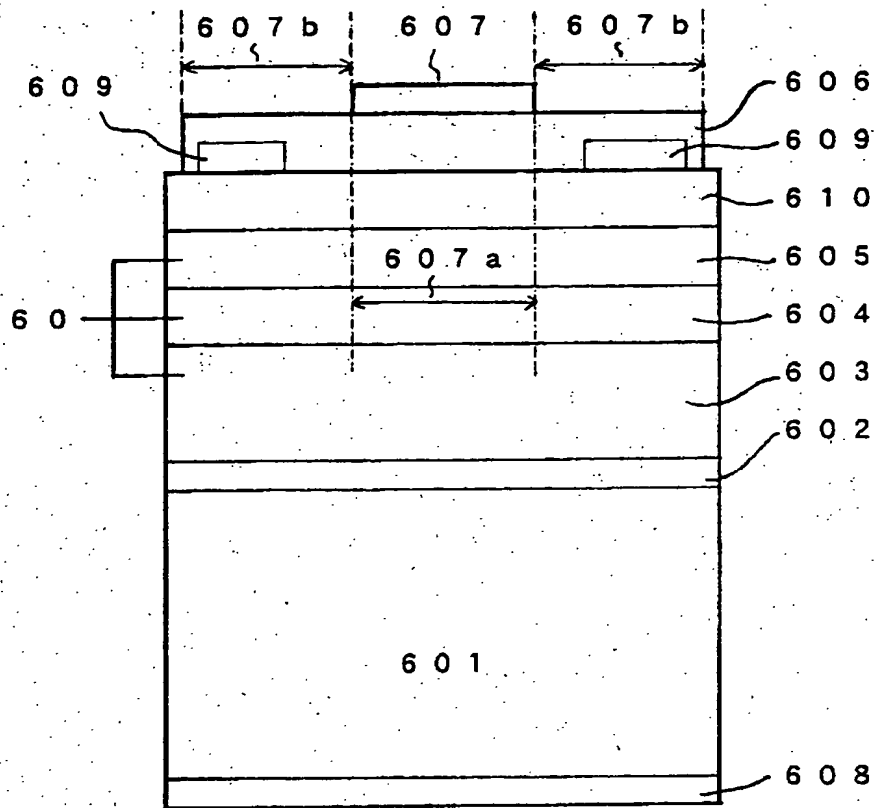
【図 7】



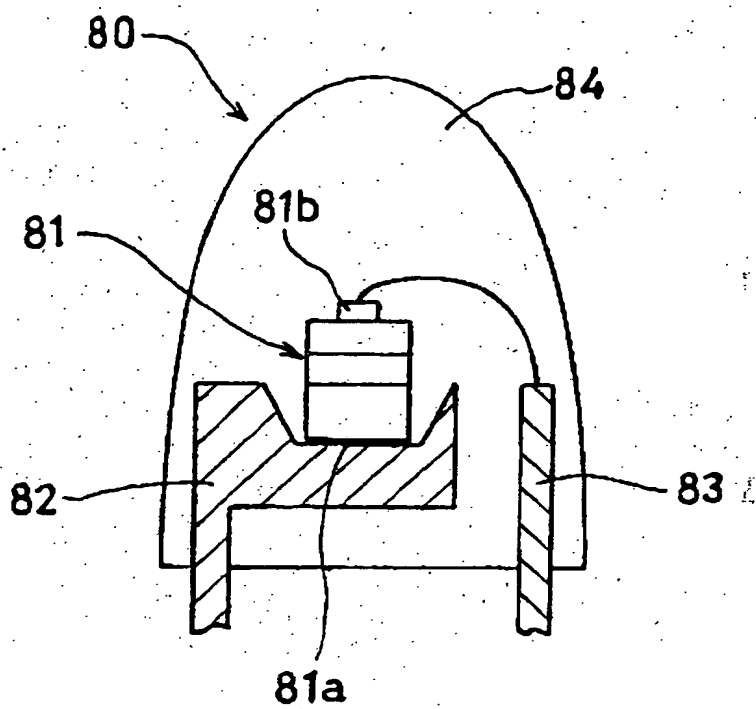
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】従来のⅢⅢⅢ族窒化物半導体ＬＥＤでは、オーミック電極を兼ねる台座電極のみからＬＥＤ駆動電流が供給されているため、駆動電流を発光領域の広範囲に拡散できず、高発光強度のⅢⅢⅢ族窒化物半導体ＬＥＤが都合良く提供されない問題を解決する。

【解決手段】導電性基板上にリン化硼素（ＢＰ）系緩衝層を介して積層した積層構造体の表面層上に表面オーミック電極、導電性透明酸化物結晶層からなる窓層、および台座電極を設けて、駆動電流を発光領域に広範囲に拡散させることにより、高発光強度のⅢⅢⅢ族窒化物半導体ＬＥＤを提供する。

【選択図】図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002004]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都港区芝大門1丁目13番9号
氏 名 昭和電工株式会社